水準測量作業規程

国土交通省国土地理院

水準測量作業規程

制　定　　平成１２年　３月２７日　　国地達第２号

国 土 地 理 院 長

一部改正　　平成２６年　３月１１日　　国地達第４号

水準測量作業規程運用基準及び水準測量計算式

制　定　　平成１３年　３月３０日　　国地測三発第５３号

測　地　部　長

一部改正　　平成１５年　３月２０日　　国地測三発第６２号
一部改正　　平成２６年　３月３１日　　国地測基第　７１号

目　次

第１章　総　　則　・・・

第３節　渡海水準点の設置　・・・

第１章　総　則

第１節　総　　則

（要　旨）

第１条　この規程は、測量法（昭和24年法律第188号。以下「法」という。）第４条に規定する基本測量のうち、直接水準測量の作業方法を定め、その規格を統一するとともに、必要な精度を確保することを目的とする。

２　水準測量とは、水準点の標高を決定する測量をいう。

（運用基準等）

第２条　この規程に定めるもののほか、この規程の運用に関する必要な事項は、水準測量作業規程運用基準、水準測量計算式及び水準測量作業規程記載要領（以下、それぞれ「運用基準」、「計算式」、「記載要領」という。）で定めるものとする。

また、電子基準点（二等水準点）の標高決定に関する事項は、水準測量による電子基準点付属標標高取付作業要領によるものとする。

（水準測量の区分）

第３条　水準測量は、一等及び二等に区分する。

２　水準測量は、直接水準測量による。

３　水準点間が海峡又は河川等によって隔てられていて直接水準測量が困難な場合は、渡海（河）水準測量（以下「渡海水準測量」という。）によることができる。

［第３条運用基準］

渡海水準測量は、交互法、俯仰ねじ法、又は経緯儀法で行う。

（水準点の区分、名称及び配点密度）

第４条　水準点は、一等及び二等に区分し、運用基準に定める密度で設置する。

２　一等は、基準水準点、準基準水準点、一等水準点、一等水準交差点、験潮場附属水準点、一等渡海水準点及び一等道路水準点をいう。

また、二等は、二等水準点、二等渡海水準点、二等道路水準点及び電子基準点（二等水準点）をいう。

［第４条運用基準］

水準点の名称、密度は、次表のとおりとする。

区　分	名　称	密度（点間距離）
一等	基準水準点	水準点間隔100km～150kmごとに設置
	準基準水準点	水準点間隔7km～10kmごとに設置
	一等水準点	水準点間隔約2kmごとに設置
	一等水準交差点	一等水準路線の交差する地点に設置
	験潮場附属水準点	験潮場に附属して設置
	一等渡海水準点	渡海（河）地点に設置
	一等道路水準点	水準点間隔約1kmごとに設置

区　分	名　称	密度（点間距離）
二等	二等水準点	水準点間隔約2kmごとに設置
	二等渡海水準点	渡海（河）地点に設置
	二等道路水準点	水準点間隔約1kmごとに設置
	電子基準点（二等水準点）	電子基準点に併設

（路線番号）

第５条　水準測量を行う観測路線（以下「水準路線」という。）は、一等水準路線、二等水準路線に区分する。

２　水準路線には、路線番号を付す。

［第５条運用基準］

１　一等水準路線は、日本水準原点又は一等の各水準点を出発点及び終点とし、原則として環を形成しなければならない。

２　二等水準路線は、一等の水準点又は二等の水準点を出発点及び終点としなければならない。

３　水準路線により形成される１個の環の路線長は、一等水準路線400km、二等水準路線200kmを標準とする。

（水準点の番号）

第６条　水準点には、それぞれ固有の番号を付す。

［第６条運用基準］

１　基準水準点、準基準水準点、一等水準点、二等水準点及び験潮場附属水準点は、それぞれに一連番号を、一等渡海水準点及び二等渡海水準点は地区ごとの一連番号を、一等水準交差点は、一等水準交差点の一連番号又は一等水準点の番号を付ける。

２　二等水準点のうちで都道府県道に設置するものについては、道路番号の前に別に定める都道府県別番号（別表）を付ける。

３　電子基準点（二等水準点）は、電子基準点番号の末尾に「A」をつけた番号とする。

４　水準路線を変更した場合は、旧路線の水準点番号を踏襲するものとし、増設した場合は、従来の番号に枝番を付ける。

５　基準水準点、一等水準交差点、験潮場附属水準点、渡海水準点及び準基準水準点の番号には、それぞれ「基」、「交」、「附」、「渡」及び「準基」の文字をその番号の前に付ける。

（水準網）

第７条　水準網とは、水準路線により形成された環が網状に２個以上結合したものをいう。

（法の遵守）

第８条　測量作業機関（以下「作業機関」という。）は、法を遵守しなければならない。

２　この規程において使用する用語のうち、法に定めのあるものは法の定めるところによる。

（関係法令の遵守等）

第９条　作業機関は、作業の実施にあたり、各種法令を遵守するとともに、これらに関する社会的慣行を尊重しなければならない。

［第９条運用基準］

１　作業機関は、労働安全衛生法の各種規定を作業者に周知徹底しなければならない。

２　作業機関は、道路交通法やその他の法令等を遵守するとともに、現地の関係官公署と十分な打ち合わせを行うものとする。

（安全管理）

第10条　作業機関は、作業の実施にあたり、安全管理を行わなければならない。

［第10条運用基準］

１　作業機関は、作業の安全を確保するため、安全に関する作業機関内の規定等（以下「安全規定等」という。）を定めなければならない。

２　作業者は、安全規定等を遵守し、災害、交通安全、健康管理等に十分留意しなければならない。

（工程管理）

第11条　作業機関は、作業計画に基づき、工程管理を行わなければならない。

［第11条運用基準］

作業機関は、作業の進捗状況を監督職員に適宜報告しなければならない。

（精度管理）

第12条　作業機関は、測量の正確さを確保するため、精度管理を行わなければならない。

［第12条運用基準］

１　作業機関は、精度管理の内容をまとめた精度管理表を作成するものとする。

２　作業機関は、国土地理院の測量成果検定機関登録名簿に登録された検定機関において、測量成果（測量記録を含む）の検定を受けなければならない。

（復旧測量）

第13条　水準点の復旧測量は、基準点維持に関する規程（平成４年国地達第５号）に基づき、行うものとする。

第２章　直接水準測量

第１節　作業の準備

（作業の準備）

第14条　作業機関は、作業の円滑かつ能率的な実施及び所定の精度を確保するため、作業着手にあたり必要な準備を行うものとする。

［第14条運用基準］

作業機関は、作業着手にあたり次の準備を行う。

(1) 法、道路交通法等関係法令に基づく諸手続きを行う。

(2) 水準点の異常情報を収集する。

(3) 器材等を点検する。

(4) 新設作業にあたっては、地形図上に既設水準点を記入し、所定の点間距離に従って新設水準点の予定位置を選定する。

(5) 変動の大きい水準点を出発点及び終点にしない。

第２節　選 点

（既設水準点の現況調査）

第15条　当該作業に使用する既設水準点については、現況を調査し、その結果を所定の様式にとりまとめるものとする。

［第15条運用基準］

１　現況調査は、観測する水準路線内の全ての既設水準点について行う。

２　調査した水準点の現況を写真撮影する。

３　現況調査の結果は、基準点現況調査報告書にとりまとめ、監督職員に提出する。

（水準点の選点）

第16条　水準点を新設する場合は、適切な位置に選定するものとする。

［第16条運用基準］

１　水準点は、地盤が安定し、保存に適し、かつ後続の作業等に利用しやすい場所に選定する。

２　水準点設置位置の選定にあたっては、関係機関等と十分協議し、道路の変更、改良及び新設等の情報を収集する。

また、歩行者及び通行車両の安全を妨げないよう十分配慮する。

３　水準点の選点の結果は、地図情報レベル５００００以下の国土地理院の刊行する地図を用いて選点図にとりまとめ、監督職員の承諾を得なければならない。

４　既設の水準路線を変更しなければならない場合は、監督職員の指示による。この場合、測地部長の承認を得なければならない。

第３節　水準点の設置

（敷地使用の承諾）

第17条　水準点を設置するときは、あらかじめ、使用する土地の所有者又は管理者の承諾を得なければならない。

［第17条運用基準］

水準点を設置するときには、敷地の所有者又は管理者の承諾を得て「建標承諾書」又は「測量標設置申請書」を２部作成し、各々１部を保管するとともに、欄外右下に測量係印を押印する。ただし、協議書又は公文書により承諾を得た場合は、その写しを添付した「協議書等による測量標設置調書」を作成する。

（水準点の設置方法）

第18条　水準点の設置は、運用基準及び記載要領に定める規格及び形式に従って行うものとする。

［第18条運用基準］

１　水準点の設置は、原則として記載要領の標準埋設図に示した規格及び形式に従い、次の事項に注意して行う。ただし、これによりがたいときは、監督職員の承諾を得て行う。

(1) 設置のために掘削する穴は、必要以上に深く掘らないこととし、埋め戻しは極力避ける。

(2) 通行の妨害又は危険のないよう配慮し、水道管、ガス管等の地下埋設物に損傷を与えないように十分注意して行う。

(3) 標石は、水準点と書かれた面を道路に向け、上面を水平にして設置する。金属標はその文字が道路に正対するような向きに設置する。

(4) 設置後は水準点の周辺を原形に復し、危険防止と美観保持に十分留意する。

２　水準点の近傍には、標示板を設置する。ただし、通行の妨害又は危険となる場合は、設置してはならない。設置にあたっては、敷地の所有者又は管理者の承諾を得てから行う。

３　水準点の設置にあたっては、設置状況を写真撮影する。

４　水準点設置後に、「水準点水平位置決定作業要領（案）（平成１７年国地測基第１号）」により、水準点の緯度、経度を求める。

第４節　観　　測

（主要機器の性能等）

第19条　観測に使用する主要機器は、運用基準に示す性能以上のものとする。

［第19条運用基準］

１　使用する主要機器は、次表のとおりとする。

区　分	主要機器	測量機器性能基準（平成13年国地達第28号）による性能
一等水準測量	レベル	１級
	水準標尺	１級
	水準測量作業用電卓	水準測量作業用電卓
二等水準測量	レベル	２級
	水準標尺	１級
	水準測量作業用電卓	水準測量作業用電卓

２　温度計の最小目盛りは１℃とする。

（主要機器の検定等）

第20条　観測に使用する主要機器は、検定及び点検を行うものとする。

２　検定及び点検については、運用基準で定める。

［第20条運用基準］

１　使用する主要機器は、国土地理院の測量機器検定機関登録名簿に登録された検定機関で検定を受けなければならない。検定結果の有効期間は、次のとおりとする。

(1) レベル及び水準測量作業用電卓（以下「水準電卓」という。）は１年とする。

(2) 水準標尺は３年とする。

２　一等水準測量に使用する水準標尺は、標尺改正数が20°Cにおいて 50×10^{-6}m/m以下のものを使用する。

また、１組の水準標尺の標尺補正数の較差は、30×10^{-6}m/m未満とする。

３　使用する機器・器材は、次の項目について点検を行い、機能点検簿を作成する。

(1) レベル

①　鉛直軸の回転は、ガタがなく円滑であること。

②　気泡管調整機構は正常であり、気泡の移動が滑らかであること。（気泡管レベルのみ。）

③　レベルの整準のための円形水準器が正常であり調整されていること。

④　望遠鏡視度調整機能が円滑であること。

⑤　十字線調整ねじが摩耗していないこと。

⑥　整準ねじの回転状態が円滑であること。

⑦　マイクロメーターにガタがなく円滑であること。（電子レベルを除く。）

⑧　ディスプレイ及びキーボードが正常であること。　（電子レベルのみ。）

(2) 標尺

①　インバールテープ目盛の塗り替え及びひび割れがないこと。

②　目盛の異常・剥離及び打痕等がないこと。

③　付属水準器調整ねじが摩耗していないこと。

④　付属水準器が正常であり調整されていること。

(3) 温度計

①　温度計の点検は、作業前に水銀温度計を用いて行う。

②　点検値の較差は２℃以内とする。

③　アルコール又は水銀に隔離部分がないか点検し、不良なものは交換する。

(4) 三脚

①　金属部と木部との接続部分にガタやねじの弛みがないこと。

②　石突き部が腐食及び摩耗していないこと。

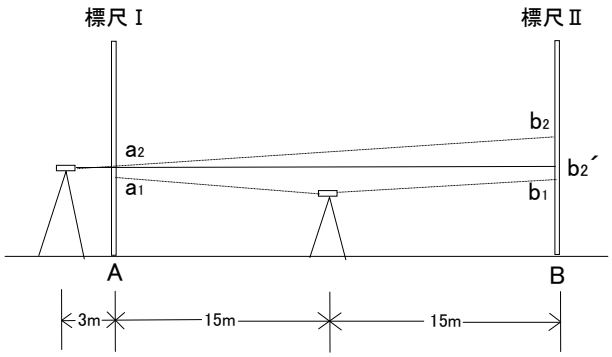
(5) 標尺台

標尺台の爪のねじの弛み及び著しい損傷がないこと。

４　レベルの調整・点検は、次のとおり行う。ただし、電子レベルについては、視準線補正角の調整を行ったあと調整・点検を行う。

(1) 視準線の調整（図参照）

①　標尺を30mの間隔に正しく鉛直に立て、その中央にレベルを整置し、両標尺間の高低差を測定する。次にレベルの位置をなるべく両標尺を結ぶ直線上に18m移し、再び両標尺間の高低差を測定する。両高低差の差が0.3mmを超えた場合は、0.3mm以内になるよう調整する。

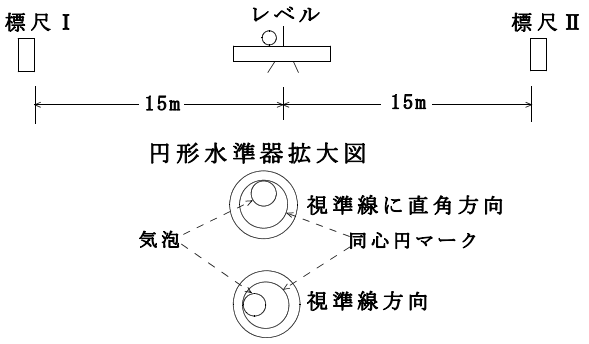


② 観測値の読定は、１級レベル0.01mm位、２級レベル0.1mm位とし、高低差の測定は、１視準１読定を１回とする２回の観測を行う。２回目の観測は、脚の向きを180°変えて行う。

③ 作業前及び作業期間中１０日を目安に、適宜実施する。

(2) 自動レベル及び電子レベルのコンペンセータ（自動補償装置）の機能点検

① 30m隔てた２本の標尺の中央にレベルを整置して、レベルを水平にした状態と傾斜させた状態で両標尺間の高低差を測定する。レベルを傾斜させた状態とは、レベルの円形水準器の気泡を視準線方向及び視準線と直角方向に同心円マークに内接させた状態をいう。



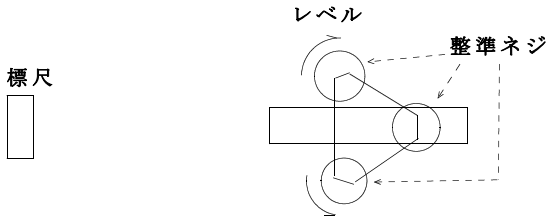
② 観測値の読定は、１級レベル0.01mm位、２級レベル0.1mm位とする。高低差の測定は１視準１読定とし、レベルが水平の状態と傾斜した状態でそれぞれ２回の観測行う。２回目の観測は、脚の向きを180°変えて行う。

③ レベルが水平の状態と傾斜した状態の両高低差の差は、0.2mm以内とする。

④ 視準線の調整・点検後、視準線方向と視準線に直角方向の２方向の機能点検を行う。

(3) 気泡管軸を含む鉛直面と視準軸を含む鉛直面との平行性の調整（気泡管レベルのみ）

① 望遠鏡を２個の整準ねじを結ぶ線に直角に置き、気泡を合致させて約15m前方に立てた標尺の目盛りを読定する。次に、望遠鏡に直角な２個の整準ねじをそれぞれ反対側に１回転して標尺の目盛りを読定する。



② 観測値の読定は、１級レベル0.01mm位、２級レベル0.1mm位とし、高低差の測定は１視準１読定とする。

③ ２回の読定値の差は、0.2mm以内とする。0.2mmを超えた場合は、調整する。

④ 作業前及び作業期間中１０日を目安に適宜実施する。

5 標尺付属水準器の調整

① 糸などの細いひもの先に錘を付けた下げ振り（垂球）を三脚等を用いて吊し、正面及び側面の２方向から標尺を見ながら標尺を正しく鉛直に立て、その状態で付属水準器の気泡が中央にあるか点検する。

気泡がずれている場合は、調整ねじで調整する。

② 前項と同精度を有する調整法も可とする。

（観測の実施）

第21条 観測は、往復観測を行うものとする。

2 水準測量作業の開始の水準点及び終了の水準点において、隣接水準点との間を検測するものとする。

3 観測値の較差が所定の許容範囲を超えたときは、再測を行うものとする。

4 日本水準原点、基準水準点、験潮場等においては、取付観測を行うものとする。

［第21条運用基準］

1 視準距離及び標尺目盛の読定位は、次表のとおりとする。ただし、各機種の性能上の最大視準距離が次表に満たない場合はその視準距離を超えてはならない。

区　　分	視準距離	読定位
一等水準測量	最大 50m（電子レベルの場合は最大40m）	0.1mm
二等水準測量	最大 60m（電子レベルの場合は最大50m）	1mm

2 観測は１視準１読定とし、標尺の読定順序は次表のとおりとする。ただし、電子レベルについては、観測回数の設定を１回とし、観測されたものを１読定とする。

区　分 ＼ 読定順序		1	2	3	4
一等水準測量	気泡管レベル	後視左	前視左	前視右	後視右
	自動レベル				
	電子レベル	後視	前視	前視	後視
二等水準測量	気泡管レベル	後視左	後視右	前視左	前視右
	自動レベル				
	電子レベル	後視	後視	前視	前視

3 観測にあたっては、次の各号について注意しなければならない。

(1) レベルに直射日光が当たらないようにレベル覆と日傘で遮蔽する。

(2) 往と復の観測で前視と後視の標尺を交換する。往と復の観測における標尺の交換を確実に行うため、標尺には、識別番号（Ⅰ、Ⅱ号又はA、B号）を付ける。

(3) 標尺の零点誤差を消去する方法で観測を行う。

(4) 水準点間の観測精度を点検するため約８測点ごとに固定点を設けるものとし、この固定点は、往と復の観測に共通して使用する。

(5) 一日の観測は、水準点に取付けて終わることを原則とする。止むを得ず固定点で終わる場合

は、固定点の異常の有無を点検できるような方法を講じなければならない。

(6) 固定点は、杭、鋲又は堅固な自然物等とする。

(7) 一等水準測量においては、１鎖部ごとに観測の開始時、終了時及び固定点到着ごとに気温を１℃単位で測定する。

(8) レベルと後視及び前視標尺までの距離を、スタジア線又は距離測定ボタンによってメートル単位で測定し、前後の視準距離を等しくする。

また、レベルはできる限り両標尺を結ぶ直線上に整置する。

(9) 望遠鏡の倍率が視準距離によって変化する場合は、測定距離をそのまま記入し、観測終了後に２段書きで補正数を記入する。

(10) レベルの脚は、特定の２脚を常に視準線と平行にし、かつ、各測点ごとに進行方向に対して左右交互に整置する。

(11) レベルを設置して円形気泡により整準するときは、望遠鏡を常に特定の標尺に向けて行うこと。

(12) 自動レベル及び電子レベルについては、円形水準器の気泡が常に特定の標尺側から接眼レンズ側に移動するようにして整準する。

(13) 一等水準測量に使用する標尺台は、原則としてセラミックス製の爪をつけたものを用いる。

(14) 標尺を立てる時は、標尺台をよく踏込み、標尺底面及び標尺台上面との接触面をよく拭う。

(15) 観測値等の記録は、原則として水準電卓を用いる。

(16) 観測手簿を用いる場合、読定値を訂正してはならない。誤記、誤読等の場合は、次の欄において１測点全部の観測をやり直す。

(17) 一等水準測量においては標尺の下方20cm以下を読定しない。電子レベルについては、読定のために必要な目盛りの範囲の下方が20cm以下の場合、測定してはならない。

(18) 陽炎の激しい場合は、適宜、測定距離を縮めるものとする。

4 電子レベルを用いる場合は、次の各号についても注意しなければならない。

(1) 内部回路の安定を図るため、観測開始前に十分な本体のウォームアップを行う。

(2) 望遠鏡の視野に木の葉等の障害物が入ったり、標尺のバーコード面に日陰による明暗ができないようにして観測する。

(3) 器械の温度と外気温との差が大きい場合は、外気温になじむまで観測を行わない。

(4) 観測に必要な基本操作や注意事項は、各機種のマニュアルによるものとする。

5 往復観測値の較差の許容範囲は、次表のとおりとする。

区　　分	許容範囲
一等水準測量	$2.5\sqrt{S}$ mm
二等水準測量	$5.0\sqrt{S}$ mm

Ｓ：水準点間の観測距離（km単位）

固定点間を再測し、往復ともに再測値を採用するときは、固定点の異常の有無を点検する。

6 検測は、次のとおり行う。

(1) 原則として片道観測とする。

(2) 片道検測の場合の前回観測高低差との較差の許容範囲は、次表のとおりとする。

区　　分	許容範囲
一等水準測量	$2.5\sqrt{S}$ mm
二等水準測量	$5.0\sqrt{S}$ mm

Ｓ：水準点間の観測距離（km単位）

(3) 較差が許容範囲を超えた場合は、検測区間を延長するものとする。ただし、検測区間が２鎖

部を超える場合、及び、作業における端点の検測で、端点の改測を必要とする場合は、監督職員の指示による。

(4)　出発点又は終点が一等水準交差点の場合は、１つの路線の検測の較差が許容範囲内であれば他の路線の検測を省略することができる。

　また、観測路線の途中にある一等水準交差点は、今回と前回の観測高低差との較差が許容範囲内にある場合は、他の路線の検測を省略することができる。

(5)　前回観測日との間隔が２０日以内のときは、検測を省略することができる。ただし、地盤沈下調査地域等については監督職員の指示による。

7　水準点を新設した場合の既知点間の結合差の許容範囲は、次表のとおりとする。

区　　分	許容範囲
一等水準測量	15√Ｓmm
二等水準測量	15√Ｓmm

Ｓ：既知水準点間の観測距離（km単位）

8　環閉合差の許容範囲は、次表のとおりとする。

区　　分	許容範囲
一等水準測量	2.0√Ｓmm
二等水準測量	5.0√Ｓmm

Ｓ：環の延長距離（km単位）

9　取付観測の方法等は、記載要領に示すとおりとする。

10　水準測量速報は、１０鎖部の観測終了後、記載要領に準拠して作成し、遅滞なく提出する。ただし、作業の一時中断や作業状況によっては、１０鎖部に満たない場合においても、遅滞なく提出する。

第５節　計算整理

（計　算）

第22条　直接水準測量の計算は、計算式に基づき、行うものとする。

［第22条運用基準］

1　計算に使用する計算式は、水準測量計算式による。ただし、これと同精度もしくはこれを上まわる精度を有することが確認できる場合には、当該計算式を使用することができる。

2　二等水準測量の標尺補正計算は、水準点間の高低差が70m以下の場合には省略することができる。

3　水準測量観測成果表（以下「観測成果表」という。）及び水準測量成果表（以下「成果表」という。）の重力補正は、正標高補正を用いる。

4　地盤沈下調査を目的とする水準測量については、基準日を設けて変動補正計算を行う。

5　平均計算は、距離の逆数を重量とし、観測方程式又は条件方程式を用いて行う。

（点の記の作成）

第23条　使用した水準点については、点の記を作成するものとする。

［第23条運用基準］

観測に使用した全ての水準点について作成する。

（成果等の整理）

第24条　観測手簿、観測成果表、計算簿、成果表、点の記及びその他の関係資料の整理は、所定の方法により行うものとする。

［第24条運用基準］

1　測量成果及び測量記録は「基本測量（測地測量）測量成果電子納品要領」に基づき作成し、所定の電子媒体に格納する。

2　測量標現況調書を所定の様式により提出する。

3　観測路線図及び水準網図は、新設路線及び路線変更時に作成する。

4　水準測量観測比高データファイル（水準点間の観測高低差）及び履歴データファイル（水準点の移転量等）は、所定の様式により電子媒体に記録する。

5　測量成果及び測量記録には、指定された路線番号を記入する。

6　作業に関して作成した諸簿及び資料は、作業者自ら点検するものとする。

第３章　渡海水準測量

第１節　作業の準備

（作業の準備）

第25条　作業機関は、作業の円滑かつ能率的な実施及び所定の精度を確保するため、作業着手にあたり必要な準備を行うものとする。

［第25条運用基準］

作業の準備については、第14条運用基準を準用する。

第２節　選　　点

（既設渡海水準点の現況調査）

第26条　当該作業に使用する既設渡海水準点については、現況を調査し、その結果を所定の様式にとりまとめるものとする。

［第26条運用基準］

既設渡海水準点の現況調査については、第15条運用基準を準用する。

（新設渡海水準点の選点）

第27条　渡海水準点を新設する場合は、適切な位置に選定するものとする。

［第27条運用基準］

１　渡海水準点の選点は、観測方法により次の各号に示す条件を考慮して行う。

(1) 交互法及び俯仰ねじ法による場合

①　両岸の渡海水準点の高低差は、１ｍ以内であること。

②　両岸の渡海水準点は、出来るだけ岸に近く地形が類似し、地盤が堅固であること。

③　観測視準線の水面からの高さは、およそ３ｍ以上隔てられていること。

(2) 経緯儀法による場合

①　両岸の渡海水準点は、標高がほぼ等しく、地形が類似し、かつ、地盤が堅固であること。また、視準線の高さは、水面からなるべく隔てられていて、極力、陸上部分の通過が少なくなる位置とすること。

②　渡海水準点間の距離が、10ｋｍを超す場合は、両岸それぞれに高低差が2.5m×Ｓ(km)以上異なる２ヶ所の渡海水準点を選定すること。　Ｓは渡海水準点間距離である。

２　上記以外については、第16条運用基準を準用する。

第３節　渡海水準点の設置

（渡海水準点の設置）

第28条　渡海水準点を設置するときは、第17条及び18条を準用する。

［第28条運用基準］

渡海水準点を設置するときは、第17条及び第18条運用基準を準用する。

（観測標識等の設置）

第29条　観測作業を円滑かつ能率的に行い、所定の精度を確保するために、必要な観測標識等を建設るものとする。

［第29条運用基準］

1　観測器械に直射日光及び風が当たるのを防ぐため、必要な設備を設ける。
2　器械の整置を堅固にするため、脚杭及び踏板を設ける。
3　標尺及び目標板を用いる場合は、標尺を固定するための標尺架を建設する。
4　渡海水準点と観測点との間隔は、およそ５ｍとする。
5　目標板の白線の太さは、２～４cm×Ｓ(km)を標準とし、渡海水準点間距離及び観測機器に応じて視準がし易いように調整する。ただし、Ｓは渡海水準点間距離とする。
6　標尺に取り付ける目標板は、交互法では１～２枚、俯仰ねじ法では２枚とする。２枚の場合は、その間隔を渡海水準点間距離の1/1,000～1/3,000とする。
7　経緯儀法においては、測器台、回光灯台を建設する。測器台、回光灯台の机板高は、３m以上を標準とする。

第４節　観　　測

（主要機器の性能等）

第30条　観測に使用する主要機器は、運用基準に示す性能以上のものとする。

［第30条運用基準］

1　使用する主要機器は、次表のとおりとする。

等級区分	使用機器	測量機器性能基準（平成13年国地達第28号）による性能
一等水準測量	レベル	１級
	水準標尺	１級
	トータルステーション	１級
	セオドライト	特級
	測距儀	１級長距離型
	ＧＮＳＳ測量機	１・２級
二等水準測量	レベル	２級
	水準標尺	１級
	トータルステーション	１級
	セオドライト	１級
	測距儀	１級中距離型
	ＧＮＳＳ測量機	１・２級

2　ＧＮＳＳ測量機により距離測定を行う場合は、１級ＧＮＳＳ測量機を用いる。ただし、８km未満の場合は、２級ＧＮＳＳ測量機を用いることができる。

3　温度計は最小目盛値１℃、気圧計は最小目盛値１hPaとする。

（主要機器の検定等）

第31条　観測に使用する主要機器は、検定及び点検を行うものとする。

2　検定及び点検については、運用基準で定める。

［第31条運用基準］

1　使用する主要機器は、国土地理院の測量機器検定機関登録名簿に登録された検定機関で検定を受けなければならない。検定結果の有効期間は、次のとおりとする。

(1) レベル、標尺及び水準電卓については、第20条運用基準を準用する。

(2) トータルステーション、セオドライト、測距儀及びＧＮＳＳ測量機は、１年とする。

2　使用する主要機器は、観測に従事する者が作業前に、次の各号に示す機能点検等を行う。

(1) レベル、標尺については、第20条運用基準を準用する。

(2) セオドライト、測距儀、ＧＮＳＳ測量機及びトータルステーションについては、次のとおり行う。

1) セオドライト

① 機能点検

a. 光学求心装置が正常であること。
b. 各軸の回転が円滑であること。
c. 気泡管調整機構が正常であり、気泡の移動が滑らかであること。
d. 望遠鏡視度調整機構が正常で、観測中視度が変わらないこと。
e. 角度の読み取り装置が正常で正しく読みとれること。
f. 高度角自動補償装置の機能が正常に作動すること。

② 鉛直角観測による点検

a. 観測は、１視準１読定を２回とする。
b. 観測する方向は、コリメーター装置の高さの異なる３個の目標とする。
c. それぞれの目標について、１対回の観測を行う。
d. 高度角定数の較差は、５秒以内とする。

2) 測距儀

① 機能点検

a. 光学求心装置が正常であること。
b. デジタル表示が正常であること。
c. 受光感度、電源電圧等を示す値が、当該機器の取扱説明書に示されている正常値の範囲内にあること。

② 比較点検

a. 国土地理院が定めた比較基線場において行う。
b. 観測は、２読定を１セットとし、３セットの測定を行う。
c. 測定値の許容範囲は、３セットの平均値と基線長との較差が10mm以内とする。

3) ＧＮＳＳ測量機

① 機能点検

a. デジタル表示が正常であること。
b. アンテナケーブルが正常であること。
c. コネクターが正常であること。
d. 電源の電圧が規定値内であること。

② 比較点検

a. 国土地理院が定めたＧＮＳＳ測量機比較基線場において行う。

b. 観測は、静的干渉測位方式で行う。

c. 観測値と基線長との較差の許容範囲は、20mm以内とする。

4) トータルステーション

① 機能点検

a. 1)－①及び2)－①)を準用する。

② 比較点検

a. 測距部については、2)－②を準用する。

b. 測角部については、1)－②を準用する。

（観測の実施）

第32条 観測は、運用基準に定める方法により実施する。

［第32条運用基準］

1 観測のセット数、読定単位等は、次表を標準として行う。

(1) 一等水準測量

観測方法		交互法	俯仰ねじ法		経緯儀法		
渡海水準点間距離（Ｓ）		300mまで	2kmまで	5kmまで	1kmまで	10kmまで	10km以上
使用機器の性能		１級レベル １級標尺	俯仰ねじを有する １級レベル、１級標尺		１級ﾄｰﾀﾙｽﾃｰｼｮﾝ、反射鏡、 １級レベル、１級標尺	特級セオドライト、１級レベル、１級標尺、 １級長距離型測距儀又は１級GNSS測量機	
使用機器の数量		１式	２式	４式	２式	２式	４式
観測条件			両岸で同時観測		両岸で同時観測		
セット数(n)		12×Ｓ	80×Ｓ	60×Ｓ	80×Ｓ	50×Ｓ	110＋$S^{2.2}$
対回数(測定回数)		5×ｎ	1×ｎ	1×ｎ	2×ｎ	2×ｎ	2×ｎ
観測日数		ｎ/25	ｎ/40	ｎ/40	ｎ/40	ｎ/40	ｎ/30
目標(標尺)の読定単位	自岸	0.1mm	0.1mm	0.1mm	1秒	0.1秒	0.1秒
	対岸	1mm	俯仰ねじの最小目盛の1/10		1秒 距離1mm	0.1秒 距離1mm	0.1秒 距離1mm
計算単位	自岸器械高	―	―	―	0.1mm	0.1mm	0.1mm
	対岸目標	―	0.1mm	0.1mm	0.1mm	0.1mm	0.1mm

(2)　二等水準測量

観測方法		交互法	俯仰ねじ法		経緯儀法		
渡海水準点間距離（S）		450mまで	2kmまで	5kmまで	1kmまで	10kmまで	10km以上
使用機器の性能		２級レベル １級標尺	俯仰ねじを有する ２級レベル、１級 標尺		１級ﾄｰﾀﾙｽﾃｰｼｮﾝ、 反射鏡、 ２級レベル、１級 標尺	１級セオドライト、２ 級レベル、１級標尺、 １級中距離型測距儀又 は１級GNSS測量機	
使用機器の数量		１式	２式	４式	２式	２式	４式
観測条件			両岸で同時観測		両岸で同時観測		
セット数(n)		12×S	80×S	60×S	80×S	20×S	$30+S^{1.9}$
対回数(測定回数)		5×n	1×n	1×n	2×n	2×n	2×n
観測日数		n/25	n/40	n/40	n/40	n/40	n/30
目標(標尺)の読定単位	自岸	1mm	1mm	1mm	1秒	1秒	1秒
	対岸	1mm	俯仰ねじの最小目盛の1/10		1秒 距離1mm	1秒 距離1mm	1秒 距離1mm
計算単位	自岸器械高	—	—	—	1mm	1mm	1mm
	対岸目標	—	1mm	1mm	1mm	1mm	1mm

注：１．Ｓは渡海水準点間距離（km単位）、観測日数欄の数字は、１日あたりの標準観測セット数

２．観測セット数及び日数の算定においては、渡海水準点間距離（km単位）を小数点以下１位までとり、乗算後の端数は切り上げて整数とする。

３．セット数が奇数となった場合は、偶数セットの観測を行い、観測日数が１日に満たない場合は、１日に切り上げる。

４．経緯儀法において測定距離が８km未満の場合は、２級ＧＮＳＳ測量機を用いることができる。

２　観測は、次に示す要領で行う。

(1) 交互法

①　観測は、はじめに自岸標尺を観測し、次に対岸標尺を５回観測し、更に自岸標尺を観測する。これを１セットとする。

②　対岸標尺の読定は、観測者の指示に従い、対岸の観測補助者が行う。読定は、標尺に装置された目標板を上下し、視準線に合致させ、そのときの標尺目盛を読取り記録する。

③　１日の全観測セットの２分の１を経過した時点で、レベルと標尺を対岸に移し換え同様の観測を行う。

④　器械を移し換える際は、視準線が器械の移動によって変化しないよう十分に注意する。

⑤　各セットの観測は、観測地点の南中時を中心にその前後６時間の間に行う。

(2) 俯仰ねじ法

1)　レベル等２式による場合

①　観測は、自岸、対岸にそれぞれ１台のレベルを使用し、両岸同時観測を行う。

②　レベルを三脚又は基台に取り付け、自岸の標尺目盛を１視準１読定する。

③　対岸の観測は、マイクロメーターを０又は５に固定して行う。
④　対岸の下段目標板を俯仰ねじを回して視準し、俯仰ねじ目盛（m_1）を読取る。
⑤　次に、俯仰ねじを回してレベルを水平に戻し、その時の俯仰ねじの目盛（m_0）を読取る。
⑥　俯仰ねじを回して上段目標板を視準し、俯仰ねじ目盛（m_2）を読み取る。
⑦　再び、m_2、m_0、m_1、の順に観測を行う。
⑧　③～⑦を両岸において同時に行う観測を１セットとする。
⑨　各セットの観測は、観測地点の南中時前３時間、後４時間の間に行う。１日のセット数は、20～60セットを標準とする。
⑩　全セットのほぼ中間で、器械、標尺を入れ換え、②～⑧を両岸において行う。
⑪　器械を入れ換える際は、視準線が器械の移動によって変化しないよう十分に注意する。

2)　レベル等４式による場合
①　観測は、自岸、対岸においてそれぞれ２台のレベルを使用し、両岸同時観測を行う。
②　２台のレベルを基台に取付け、器械高を等しくして視度を対岸目標に合わせる。
③　次に、自岸において対物鏡を対向させ、一方のレベルの十字線に他方のレベルの十字線の映像が一致するように、前面の楔形レンズによって調整する。
④　１台のレベルで、自岸の標尺目盛を１視準１読定する。
⑤　前項③～⑧と同様の方法にて観測を行う。
⑥　次に、他の１台のレベルを用いて④及び⑤の観測を行う。
⑦　④～⑥を両岸において同時に行う観測を１セットとする。
⑧　各セットの観測は、観測地点の南中時前３時間、後４時間の間に行う。１日のセット数は、10～50セットを標準とする。

(3) 経緯儀法
1)　トータルステーション等２式による場合
①　観測は、自岸、対岸にそれぞれ１台のトータルステーションを使用し、両岸同時観測を行う。
②　自岸の観測は、対岸観測（１セット）の前と後に行う。観測は、渡海点に立てた標尺の任意２ヶ所の目盛について高度角測定する。
③　対岸の観測は、測距、測角によって行う。高度角は、反射鏡中心を目標として、望遠鏡右及び左の位置で１視準１読定を１対回とする５対回の観測を行う。これを１セットとする。
④　自岸器械高を0.1㎜位まで算出する。器械高の計算に用いる高度角は、②の結果の平均値とする。
⑤　対岸の反射鏡高は、レベルを用いて、反射鏡と、反射鏡と隣接して設置した標尺（渡海水準点あるいは固定点上）とのマイクロメーターの読みの差から算出する。
⑥　各セットの観測は、観測地点の南中時を中心にその前後６時間の間に行う。
⑦　１日の全観測セットの２分の１を経過した時点で、器械と反射鏡を入れ替えて観測を行う。
⑧　１セット（５対回）の高度角定数較差の許容範囲は、次のとおりとする
一等水準測量　　５秒以内
二等水準測量　　７秒以内
⑨　観測にデータコレクタを使用する場合は、水平角、鉛直角、距離の観測データ全てを取り込んでも支障ない。
⑩　１日のセット数は、20～60を標準とする。

2)　セオドライト２式による方法
①　観測は、自岸、対岸にそれぞれ１台のセオドライトを使用し、両岸同時観測を行う。
②　高度角及び距離測定は、できるだけ同一の点で行う。

③　自岸の観測は、対岸観測（１セット）の前と後に行う。観測は、渡海水準点に立てた標尺の任意２ヶ所の標尺目盛について高度角測定する。

④　対岸の観測は、測距、測角によって行う。高度角は、回光灯を目標として、望遠鏡右及び左の位置で１視準１読定を２回行い、これを１対回とする２対回の観測を行う。２対回に要する時間は、５分以内を標準とする。

⑤　③～④を両岸同時に行う観測を１セットとする。

⑥　自岸器械高を0.1mm位まで算出する。器械高の計算に用いる高度角は、②の結果の平均値とする。

⑦　各セットの観測は、観測地点の南中時を中心にその前後６時間の間に行う。

⑧　１日の全観測セットの２分の１を経過した時点で、器械を入れ替えて観測を行う。

⑨　１セット（２対回）の高度角定数較差の許容範囲は、次のとおりとする。

一等水準測量　　５秒以内
二等水準測量　　７秒以内

⑩　セット間間隔は５分以上を標準とし、１日のセット数は、10～50セットを標準とする。

⑪　距離測定に測距儀を用いる場合は、次のとおりとする。

a. 観測セット数は、３セットとする。
b. １セットの測定数は、２測定とする。
c. １セットの測定時間は、５分以内とする。
d. 各セットの測定間隔は、20分以上とする。
e. セット内較差は、10mm以内とする。
f. 気象補正後のセット間較差の許容範囲は、50mm以内とする。
g. 観測距離が10km未満の場合の気象要素の測定は、器械点又は反射点のいずれか片側とすることができる。
h. 気象要素は、各セットの開始時及び終了時に測定する。
i. 温度計は、地物、植生及び地面からおよそ1.5m以上離して、輻射熱の影響が少ない位置に設置する。気圧計は、器械又は反射鏡の器械高から高低差１m以内の位置に設置する。

⑫　距離測定にＧＮＳＳ測量機を用いる場合は、次のとおりとする。

a. 観測方法は、スタティック法とする。
b. 観測セッション数は、１セッションとする。
c. 連続観測時間は、120分以上とする。
d. データ取得間隔は、30秒以内とする。
e. 衛星は、高度角が15度以上のものを使用する。
f. 衛星の作動状態（ヘルスステータス）が正常のものを使用する。
g. 衛星は、同時に４個以上を使用する。
h. 距離測定の点検方法は、１セッションを前半、後半の各１時間以上に分離解析し、その出合差で点検する。出合差の許容範囲は、斜距離で50mm以内とする。

3)　セオドライト４式による方法

①　観測は、自岸、対岸にそれぞれ２台のセオドライトを使用し、両岸同時観測を行う。

②　高度角及び距離測定は、同一の点で行うことを原則とする。

③　自岸の観測は、対岸観測（１セット）の前と後に行う。観測は、渡海水準点に立てた標尺の任意２ヶ所の標尺目盛について高度角測定する。

④　対岸の観測は、測距、測角によって行う。高度角は、回光灯を目標として、望遠鏡右及び左の位置で１視準１読定を２回行い、これを１対回とし、対岸の上下２目標についてそれぞれ１対回の観測を行う。これを１セットとする。２目標の観測に要する時間は、５分以内を標準とする。

⑤　③～④を両岸４点において同時に行う観測を１セットとする。

⑥　自岸器械高を0.1mm位まで算出する。器械高の計算に用いる高度角は、②の結果の平均値

とする。

⑦　各セットの観測は、観測地点の南中時を中心にその前後６時間の間に行う。

⑧　全観測セットの４分の１終了時点で、器械を両岸の上下で入れ替え、２分の１終了時点で対岸と入れ替える。さらに４分の３終了時点で両岸の上下で入れ替えて観測を行う。

⑨　１セット（２対回）の高度角定数較差の許容範囲は、次のとおりとする

一等水準測量　　５秒以内

二等水準測量　　７秒以内

⑩　セット間間隔は５分以上を標準とし、１日のセット数は、10～40セットを標準とする。

⑪　距離測定に測距儀を用いる場合は、2)⑪を準用する。ただし、測定の時間帯は、日没前後２時間とする。

⑫　距離測定にＧＮＳＳ測量機を用いる場合は、2)⑫を準用する。

第５節　計算・整理及び点検

（計　算）

第33条　渡海水準測量の計算は、運用基準に定める方法により行うものとする。

［第33条運用基準］

１　計算に使用する計算式は、水準測量計算式による。

また、ＧＮＳＳ測量機による距離測定に関わる計算に使用する計算式は、基準点測量作業規程運用基準及び計算式（昭和63年国地測計発第29号）による。ただし、これらと同精度又は上まわる精度を有することが確認できる場合は、当該計算式を使用することができる。

２　ＧＮＳＳ測量による基線解析の方法は、次項による。

(1) ＧＮＳＳ衛星の軌道要素は、放送暦とする。

(2) 最初の基線解析で固定する水準点の座標は、すでに座標値があるもの以外は、地図情報レベル２５０００以下の地理院地図等から読みとった座標を使用し、次回以降の基線解析は、前段の基線解析で求められた座標値を用いて順次解析を行う。

(3) 基線解析の方法は、単一基線解析（ｼﾝｸﾞﾙﾍﾞｰｽﾗｲﾝ）による。

(4) 基線解析は、計算に用いる全ての基線について行う。

(5) サイクルスリップの編集は、基線解析ソフトウェアによる自動編集とする。

(6) 基線解析の結果は、フィックス解とする。

(7) 基線解析の結果に基づいて、ＧＮＳＳ観測手簿、記簿を作成する。

（成果等の整理）

第34条　成果等の整理については、第24条を準用する。

附　則

１．この規程は、平成１３年４月１日から施行する。

２．水準測量作業規程（昭和５９年国地達第３号）は廃止する。

３．この規程に定めるものと異なる機器又は作業方法については、測地部長と別途協議するものとする。

４．この規程の運用基準、計算式、記載要領については、測地部長が別途定めるものとする。

附　則

この規程は、平成２６年４月１日から施行する。

附　則

１．この運用基準と水準測量計算式は、平成１３年４月１日から適用する。

２．水準測量作業規程（案）、水準測量作業規程運用基準及び水準測量計算式（平成８年３月２９日国地測三発第５０号）は廃止する。

３．水準測量作業規程（案）、水準測量作業規程運用基準及び水準測量計算式（平成１０年２月２２日国地測三発第４号）は廃止する。

４．水準測量作業規程運用基準及び水準測量計算式（平成１２年３月３１日国地測三発第１７号）は廃止する。

５．直営作業の場合において、「監督職員」とあるのは、「係長」と読み替えるものとする。

附　則

水準測量作業規程運用基準及び水準測量計算式　平成１５年３月２０日一部改正

（国地測三発第６２号）

附　則

この運用基準と水準測量計算式は、平成２６年４月１日から施行する。

水準測量計算式

水準測量計算式

1　観測比高に対する補正計算

$$h = \Delta H + \Delta C + \Delta G$$

ただし，　h：高低差(単位　m)

ΔH：観測高低差(単位　m)

ΔC：標尺補正量(単位　m)

ΔG：正標高補正量(単位　m)

〔1〕　標尺補正計算

$$\Delta C = \{ C_0 + (T - T_0) \cdot \alpha \} \cdot \Delta H$$

ただし，ΔC：標尺補正量(単位　m)

C_0：基準温度における標尺改正数(単位長さあたりの補正量)(単位　m)

T：観測時の測定温度(単位　℃)

T_0：基準温度(単位　℃)

α：膨張係数

ΔH：観測高低差(単位　m)

〔2〕　重力補正計算

正標高補正

$$\Delta G = \left[\left\{ \frac{(g_i + g_j)}{2} \right\} - \gamma_0 \right] \cdot \Delta H / \gamma_0 + H_i \cdot (G_i - \gamma_0) / \gamma_0 - H_j \cdot (G_j - \gamma_0) / \gamma_0$$

ただし、ΔG：正標高補正量（単位　mm）

g_i、g_j：水準点i、jにおける重力値（地表重力値　単位 mGal）

ΔH：水準点iからjの観測高低差(単位　m)

γ_0：980619.92 mGal（緯度４５°における正規重力値　単位 mGal）

H_i、H_j：水準点i、jにおける標高（正標高　単位　m）

G_i、G_j：水準点i、jにおける鉛直平均重力値（単位 mGal）

（地表からジオイド面までの平均重力値）

$$G_i = g_i + 0.0424 H_i$$

$$G_j = g_j + 0.0424 H_j$$

＜参考＞

正規正標高補正（楕円補正）

$$K = 5.29 \cdot \sin(B_1 + B_2) \cdot \{ (B_1 - B_2) / \rho' \} \cdot H$$

ただし、K：正規正標高補正量（mm単位）

B_1, B_2：水準路線の出発点及び終末点（又は変曲点）の緯度（分単位）

H：水準路線の平均標高（m単位）

$$\rho' = \frac{180}{\pi} \cdot 60'$$

2　水準測量観測の標準偏差

$$m_0 = \sqrt{\frac{1}{4} \cdot \Sigma \left(\frac{U_i^{\,2}}{S_i} \right) \cdot \frac{1}{n}}$$

ただし，　m_0：１km当たりの観測の標準偏差（mm単位）
　　U_i：各鎖部の往復差（mm単位）
　　S_i：各鎖部の距離（km単位）
　　n：鎖部数

3　水準網平均計算

（１）観測方程式による場合

①　観測方程式

$$v_{12} = -x_1 + x_2 - (H_1 - H_2 + \Delta H_{12}) \quad , \quad P_{12}$$
$$v_{23} = -x_2 + x_3 - (H_2 - H_3 + \Delta H_{23}) \quad , \quad P_{23}$$
$$\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots$$
$$v_{ij} = -x_i + x_j - (H_i - H_j + \Delta H_{ij}) \quad , \quad P_{ij}$$

ただし，H_i, H_j：水準点ij の仮定標高
　　x_i, x_j：水準点ij の仮定標高に対する補正値
　　ΔH_{ij}：水準点ij 間の観測高低差
　　v_{ij}：水準点ij 間の観測高低差の残差
　　P_{ij}：水準点ij 間の観測高低差の重量

行列表示にすると，

$$\boldsymbol{V} = \boldsymbol{A}\boldsymbol{X} - \boldsymbol{L} \quad , \quad \boldsymbol{P}$$

ただし，　$\boldsymbol{V}$：残差のベクトル
　　$\boldsymbol{X}$：未知数（仮定標高に対する補正値）のベクトル
　　$\boldsymbol{A}$：未知数の係数の行列
　　$\boldsymbol{L}$：定数項のベクトル
　　$\boldsymbol{P}$：重量の行列

ただし，各マトリックス，ベクトルの内容は次のとおり

$$\underset{(m,\,1)}{\boldsymbol{V}} = \begin{pmatrix} v_1 \\ v_2 \\ \vdots \\ \vdots \\ v_m \end{pmatrix} , \quad \underset{(m,\,n)}{\boldsymbol{A}} = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots\cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots\cdots & a_{2n} \\ \cdots\cdots & \cdots\cdots & \cdots\cdots & \cdots\cdots \\ \cdots\cdots & \cdots\cdots & \cdots\cdots & \cdots\cdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \cdots\cdots & a_{mn} \end{pmatrix}$$

$$\underset{(n,\,1)}{\boldsymbol{X}} = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ \vdots \\ x_n \end{pmatrix} , \quad \underset{(m,\,1)}{\boldsymbol{L}} = \begin{pmatrix} l_1 \\ l_2 \\ \vdots \\ \vdots \\ l_m \end{pmatrix} , \quad \underset{(m,\,m)}{\boldsymbol{P}} = \begin{pmatrix} p_1 & & & 0 \\ & p_2 & & \\ & & \ddots & \\ 0 & & & \mathrm{p}_m \end{pmatrix}$$

ただし，　v_k：k番目に関する v_{ij}
　　l_k：k番目に関する（$H_i - H_j + \Delta H_{ij}$）
　　p_k：k番目に関する P_{ij}

$$P_{ij}=\frac{1}{S_{ij}}$$

S_{ij} ： 水準点ij間の路線長

② 正規方程式

$$(\boldsymbol{A}^{T}\boldsymbol{P}\boldsymbol{A})\ \boldsymbol{X}=\boldsymbol{A}^{T}\boldsymbol{P}\boldsymbol{L}$$

$$\therefore\quad \boldsymbol{X}=(\boldsymbol{A}^{T}\boldsymbol{P}\boldsymbol{A})^{-1}\boldsymbol{A}^{T}\boldsymbol{P}\boldsymbol{L}$$

③ 平均の結果

ｲ) 単位重量当たりの観測の標準偏差 （m_0）

$$m_0=\sqrt{\frac{\boldsymbol{V}^{T}\boldsymbol{P}\boldsymbol{V}}{(m-n)}}$$

ただし，m：観測方程式の数

n ：未知数の数

ﾛ) 未知点の平均標高の標準偏差

$M_1=m_0\sqrt{q_{11}}$，$M_2=m_0\sqrt{q_{22}}$，……，$M_n=m_0\sqrt{q_{nn}}$

ただし，

$$\underset{(n,\,n)}{\boldsymbol{Q}}=(\boldsymbol{A}^{T}\boldsymbol{P}\boldsymbol{A})^{-1}=\begin{pmatrix} q_{11} & q_{12} & \cdots\cdots\cdots\cdots & q_{1n} \\ q_{21} & q_{22} & \cdots\cdots\cdots\cdots & q_{2n} \\ \cdots\cdots & \cdots\cdots & \cdots\cdots\cdots\cdots & \\ \cdots\cdots & \cdots\cdots & \cdots\cdots\cdots\cdots & \\ q_{n1} & q_{n2} & \cdots\cdots\cdots\cdots & q_{nn} \end{pmatrix}$$

（２）条件方程式による場合

① 条件方程式

$$b_{11}v_1+b_{12}v_2+\cdots\cdots\ b_{1m}v_m+\omega_1=0$$
$$b_{21}v_1+b_{22}v_2+\cdots\cdots\ b_{2m}v_m+\omega_2=0$$
$$\cdots\cdots\cdots\cdots$$
$$b_{r1}v_1+b_{r2}v_2+\cdots\cdots\ b_{rm}v_m+\omega_r=0$$

ただし，ω：環閉合差

v ：路線の高低差の補正量

行列表示にすると，

$$\boldsymbol{B}\boldsymbol{V}+\boldsymbol{W}=0$$

ただし，$\boldsymbol{B}$：未知数の係数の行列

$\boldsymbol{V}$：残差のベクトル

$\boldsymbol{W}$：閉合差のベクトル

ただし，各マトリックス，ベクトルの内容は次のとおり

$$\underset{(r,\,m)}{B}=\begin{pmatrix} b_{11} & b_{12} & \cdots\cdots\cdots\cdots & b_{1m} \\ b_{21} & b_{22} & \cdots\cdots\cdots\cdots & b_{2m} \\ \cdots & \cdots & \cdots\cdots\cdots\cdots & \\ \cdots & \cdots & \cdots\cdots\cdots\cdots & \\ b_{r1} & b_{r2} & \cdots\cdots\cdots\cdots & b_{rm} \end{pmatrix}, \quad \underset{(m,\,1)}{V}=\begin{pmatrix} v_1 \\ v_2 \\ \vdots \\ \vdots \\ v_m \end{pmatrix}, \quad \underset{(r,\,1)}{W}=\begin{pmatrix} \omega_1 \\ \omega_2 \\ \vdots \\ \vdots \\ \omega_r \end{pmatrix}$$

② 相関方程式

$$V=(BP^{-1})^{T}\cdot K$$

ただし，

$$\underset{(m,\,m)}{P^{-1}}=\begin{pmatrix} \frac{1}{p_1} & & & 0 \\ & \frac{1}{p_2} & & \\ & & \ddots & \\ 0 & & & \frac{1}{p_m} \end{pmatrix}, \quad \underset{(r,\,1)}{K}=\begin{pmatrix} \kappa_1 \\ \kappa_2 \\ \vdots \\ \vdots \\ \kappa_r \end{pmatrix}$$

K：相関係数（未定係数）のベクトル

③ 正規方程式

$$(BP^{-1}B^{T})\cdot K+W=0$$

$$\therefore K=-(BP^{-1}B^{T})^{-1}\cdot W$$

④ 平均の結果

単位重量当たりの観測の標準偏差

$$m_0=\sqrt{\frac{-K^{T}W}{r}}$$

ただし， r ：条件方程式の数

4 変動補正計算

$$\Delta h=\frac{\Delta H_2-\Delta H_1}{T_2-T_1}\cdot(T-T_2)$$

ただし， Δh ：H_2に対する変動補正量
T_1：旧観測月日
T_2：新観測月日
T：統一する月日
ΔH_1：T_1における観測高低差
ΔH_2：T_2における観測高低差

5　渡海水準測量の計算

（1）　交互法の計算

①　自動レベル及び気泡管レベル１台の場合

$$\Delta H = \frac{1}{m}\sum_{1}^{m} a - \frac{1}{n}\sum_{1}^{n} b$$

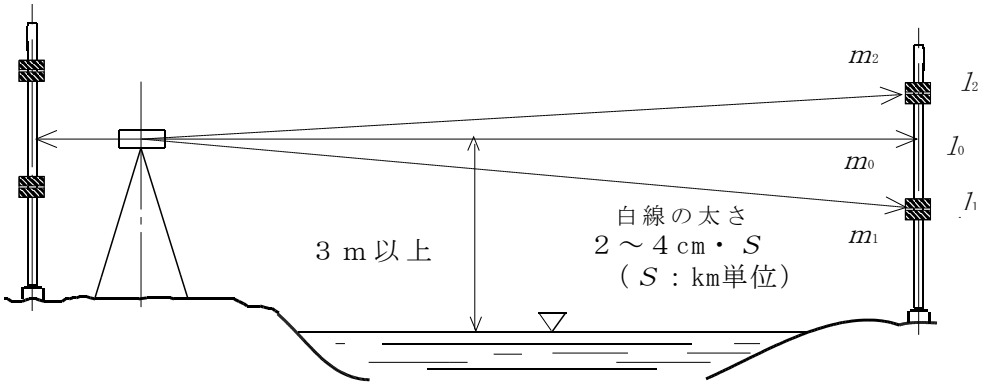
ただし，ΔH：高低差
a：自岸の読定値
b：対岸の読定値
m、n：読定回数

②　電子レベル１台の場合

$$\Delta H = \left(\frac{1}{m}\sum_{1}^{m} a - \frac{1}{n}\sum_{1}^{n} b\right) \cdot X$$

ただし，ΔH：高低差
a：自岸の読定値
b：対岸の読定値
m、n：読定回数
X：バーコード標尺の倍率

③　気泡管レベル１台の場合



$$l_0 = l_1 + (l_2 - l_1) \cdot \frac{m_0 - m_1}{m_2 - m_1}$$

$$\Delta H = l - l_0$$

$$S = (l_2 - l_1) / \tan((m_2 - m_1) \cdot \alpha)$$

ただし，　ΔH：高低差
l_1，l_2：下段、上段目標板位置の標尺目盛
m_1，m_2：下段、上段目標板測定値（俯仰ねじ目盛）
m_0：気泡合致の時の測定値（俯仰ねじ目盛）
l：後視標尺（自岸標尺）の読定値
l_0：前視標尺（対岸標尺）のm_0に対する標尺目盛
S：器械から目標板までの概略距離（参考値）
α：使用器械の１分画の秒数

（２）　俯仰ねじ法の計算

①　レベル２式の場合

$$l_{A0} = l_{A1} + (l_{A2} - l_{A1}) \cdot \frac{m_{A0} - m_{A1}}{m_{A2} - m_{A1}}$$

$$l_{B0} = l_{B1} + (l_{B2} - l_{B1}) \cdot \frac{m_{B0} - m_{B1}}{m_{B2} - m_{B1}}$$

$$\Delta H_A = l_A - l_{A0}$$

$$\Delta H_B = l_B - l_{B0}$$

$$\Delta H = (\Delta H_A - \Delta H_B) / 2$$

ただし，　ΔH_A：Ａ点での高低差

ΔH_B：Ｂ点での高低差

l_{A1}，l_{A2}：Ａ点からＢ点を観た際の下段、上段目標板位置の標尺目盛

m_{A1}，m_{A2}：Ａ点からＢ点を観た際の下段、上段目標板測定値（俯仰ねじ目盛）

m_{A0}：Ａ点からＢ点を観た際の気泡合致の時の測定値（俯仰ねじ目盛）

l_A：Ａ点における後視標尺（自岸標尺）の読定値

l_{A0}：Ａ点における前視標尺（対岸標尺）のm_{A0}に対する標尺目盛

l_{B1}，l_{B2}：Ｂ点からＡ点を観た際の下段、上段目標板位置の標尺目盛

m_{B1}，m_{B2}：Ｂ点からＡ点を観た際の下段、上段目標板測定値（俯仰ねじ目盛）

m_{B0}：Ｂ点からＡ点を観た際の気泡合致の時の測定値（俯仰ねじ目盛）

l_B：Ｂ点における後視標尺（自岸標尺）の読定値

l_{B0}：Ｂ点における前視標尺（対岸標尺）のm_{B0}に対する標尺目盛

②　レベル４式の場合

片岸２台における対岸上下２枚の目標板測定値の平均値を用いて①と同様に計算する。

（３）　経緯儀法の計算

①　ＴＳ１台の場合（ミラー使用）

イ．ミラー高の計算

$$f = 1 + \Delta h$$

$$\Delta h = m_R - m_M$$

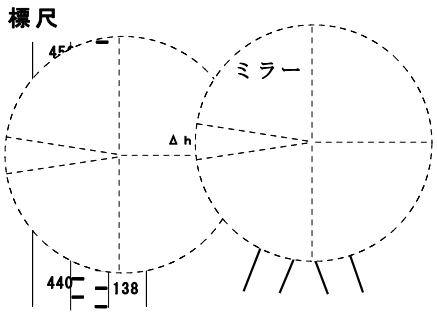
ただし、f：ミラー高

l：標尺のcm位までの読み値

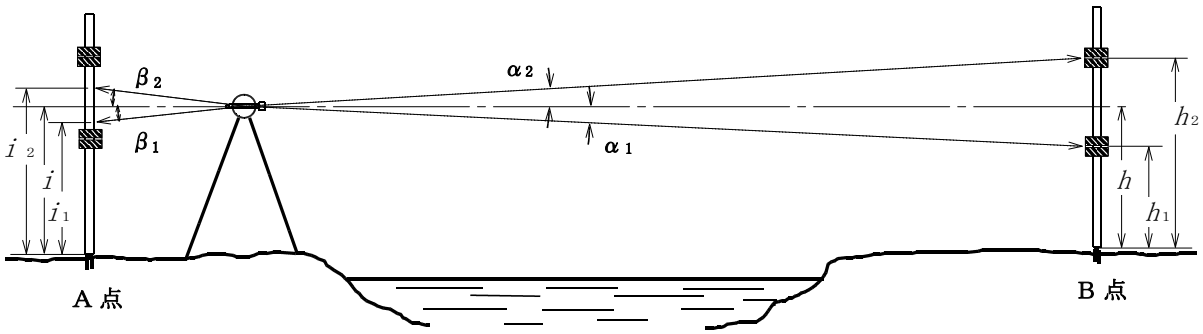
Δh：マイクロメーターの読みの差

m_R：標尺のマイクロメーターの読み値

m_M：ミラーのマイクロメーターの読み値



ロ．器械高の計算



$$i = \frac{(i_1 - i_2) \cdot \tan\beta_1}{\tan\beta_2 - \tan\beta_1} + i_1$$

ただし、　i ：Ａ点の器械高（自岸）

i_1，i_2：Ａ点の標尺目盛（自岸）

β_1，β_2：Ａ点の標尺目盛の測定値（高度角）

ハ．高低差の計算

$H_B = H_A + h + i - f$

$\Delta H = D \cdot \sin\alpha$

ただし、　H_A：Ａ点の標高

H_B：Ｂ点の標高

ΔH ：高低差

i ：Ａ点の器械高（自岸）

f ：ミラー高（対岸）

α ：高度角

D ：器械からミラーまでの斜距離

② ＴＳ２台の場合

$\Delta H_A = D_A \cdot \sin\alpha_A + i_A - f_B$

$\Delta H_B = D_B \cdot \sin\alpha_B + i_B - f_A$

$\Delta H = (\Delta H_A - \Delta H_B) / 2$

ただし、　ΔH：２点間の高低差

ΔH_A：Ａ点から求めた高低差

ΔH_B：Ｂ点から求めた高低差

i_A、i_B ：Ａ点、Ｂ点の器械高

f_A、f_B ：Ａ点、Ｂ点のミラー高

α_A、α_B ：Ａ点、Ｂ点の高度角

D_A、D_B ：Ａ点、Ｂ点側器械から、対岸ミラーまでの斜距離

③ セオドライト２台の場合（回光灯使用）

$\Delta H_1 = D \cdot \sin\alpha_1 + i_1 - f_2$

$\Delta H_2 = D \cdot \sin\alpha_2 + i_2 - f_1$

$\Delta H = (\Delta H_1 - \Delta H_2) / 2$

ただし，　ΔH_1：既知点からの高低差

ΔH_2：求点からの高低差

ΔH：高低差

α_1，α_2：両岸で観測したそれぞれの高度角

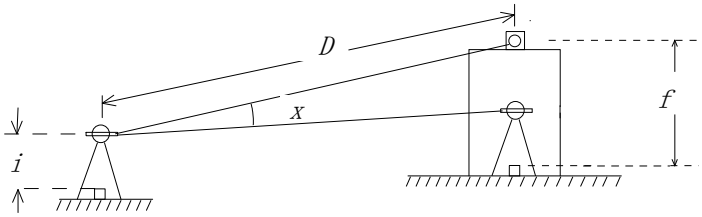
i_j，f_j：両岸の器械高と回光灯高

D：２点間の斜距離

④　セオドライト４台の場合（回光灯使用）

イ．高度角に対する補正計算

$$x = \frac{i - f}{D} \rho''$$



ただし、x：補正数（観測角にこのままの符号で用いる）

i：器械高（観測点）

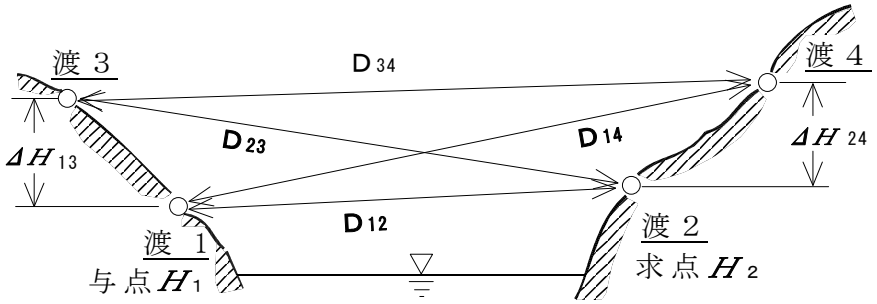
f：測標高（相手方）

D：２点間の斜距離

ρ''：$\frac{180}{\pi} \times 3,600''$

ロ．セオドライト４台の場合で観測距離がおよそ15km以内の場合は、③の計算式又は次項の計算式によって高低差を求める。

ハ．セオドライト４台の場合で観測距離がおよそ15kmを越える場合は，次式によって１セットの観測に対するH_2，χ_0，χ_0'，χ_0''を求める。



方向　(1)→(2)　$\delta_{12} = -H_2 - a_{12}\chi_0 - b_{12}\chi_0' - c_{12}\chi_0'' + l_{12}$

(1)→(4)　$\delta_{14} = -H_2 - a_{14}\chi_0 - b_{14}\chi_0' - c_{14}\chi_0'' + l_{14}$

(3)→(2)　$\delta_{32} = -H_2 - a_{32}\chi_0 - b_{32}\chi_0' - c_{32}\chi_0'' + l_{32}$

(3)→(4)　$\delta_{34} = -H_2 - a_{34}\chi_0 - b_{34}\chi_0' - c_{34}\chi_0'' + l_{34}$

(2)→(1)　$\delta_{21} = H_2 - a_{21}\chi_0 - b_{21}\chi_0' - c_{21}\chi_0'' + l_{21}$

(2)→(3)　$\delta_{23} = H_2 - a_{23}\chi_0 - b_{23}\chi_0' - c_{23}\chi_0'' + l_{23}$

(4)→(1)　$\delta_{41} = H_2 - a_{41}\chi_0 - b_{41}\chi_0' - c_{41}\chi_0'' + l_{41}$

(4)→(3)　$\delta_{43} = H_2 - a_{43}\chi_0 - b_{43}\chi_0' - c_{43}\chi_0'' + l_{43}$

ただし、

$l_{12} = d_{12} + a_{12} + H_1$

$l_{14} = d_{14} + a_{14} + H_1 - \Delta H_{24}$

$l_{32} = d_{32} + a_{32} + H_1 + \Delta H_{13}$

$l_{34} = d_{34} + a_{34} + H_1 + \Delta H_{13} - \Delta H_{24}$

$l_{21} = d_{21} + a_{21} - H_1$

$l_{23} = d_{23} + a_{23} - H_1 - \Delta H_{13}$

$l_{41} = d_{41} + a_{41} - H_1 + \Delta H_{24}$

$l_{43} = d_{43} + a_{43} - H_1 - \Delta H_{13} + \Delta H_{24}$

$$a_{ij} = \frac{D_{ij}^2 - (H_i - H_j)^2}{(2R + H_i + H_j)\cos^2\alpha_{ij}}$$

$$b_{ij} = a_{ij}\frac{2H_i + H_j}{3}$$

$$c_{ij} = a_{ij}\frac{3H_i^2 + 2H_iH_j + H_j^2}{12}$$

$d_{ij} = D_{ij}\sin\alpha_{ij}$

$H_3 = H_1 + h_{13}$

$H_4 = H_2 + h_{24}$

ただし、ΔH_{13}、ΔH_{24}：下方器械点と上方器械点との高低差

R：その地点における地球の平均曲率半径

χ_0：標高零メートルにおける曲率比

χ_0'、χ_0''：標高零メートルにおける曲率比の第一次、第二次微分係数

δ_{ij}：残差

α_{ij}：高度角（観測角に器械高と測標高の差による補正数を施した角）

D_{ij}：斜距離

平均曲率半径は次式によって求める。

$$R = \sqrt{M \cdot N}$$　……平均曲率半径

$$W = \sqrt{1 - e^2\sin^2\phi}$$

$$M = \frac{a(1-e^2)}{W^3}$$　　$$N = \frac{a}{W}$$　　M…子午線曲率半径　N…卯酉線曲率半径

長半径：　$a = 6378137\text{m}$

第一離心率：　$e^2 = 0.006\ 694\ 380\ 022\ 900\ 79$

計算式の中には、未知数の係数に求点の標高が入っているのでH_2の値が収束するまで反復計算を行う。

なお、屈折係数：K_{ij}は次の式により求める。

$$K_{ij}=\chi_0+\left(\frac{2}{3}H_i+\frac{1}{3}H_j\right)\chi_0'+\left(\frac{1}{4}H_i^2+\frac{1}{6}H_iH_j+\frac{1}{12}H_j^2\right)\chi_0''$$

行列による解法

観測方程式は

$$\boldsymbol{V}=\boldsymbol{A}\boldsymbol{X}+\boldsymbol{L}\quad,\quad\boldsymbol{P}$$

ただし、

$$\boldsymbol{A}=\begin{pmatrix}-1 & -a_{12} & -b_{12} & -c_{12}\\ -1 & -a_{14} & -b_{14} & -c_{14}\\ -1 & -a_{32} & -b_{32} & -c_{32}\\ -1 & -a_{34} & -b_{34} & -c_{34}\\ 1 & -a_{21} & -b_{21} & -c_{21}\\ 1 & -a_{23} & -b_{23} & -c_{23}\\ 1 & -a_{41} & -b_{41} & -c_{41}\\ 1 & -a_{43} & -b_{43} & -c_{43}\end{pmatrix}\qquad \boldsymbol{X}=\begin{pmatrix}H_2\\ \chi_0\\ \chi_0'\\ \chi_0''\end{pmatrix}\qquad \boldsymbol{L}=\begin{pmatrix}l_{12}\\ l_{14}\\ l_{32}\\ l_{34}\\ l_{21}\\ l_{23}\\ l_{41}\\ l_{43}\end{pmatrix}$$

$$\boldsymbol{P}=\begin{pmatrix}1&0&0&0&0&0&0&0\\ 0&1&0&0&0&0&0&0\\ 0&0&1&0&0&0&0&0\\ 0&0&0&1&0&0&0&0\\ 0&0&0&0&1&0&0&0\\ 0&0&0&0&0&1&0&0\\ 0&0&0&0&0&0&1&0\\ 0&0&0&0&0&0&0&1\end{pmatrix}$$

正規方程式

$(\boldsymbol{A}^T\boldsymbol{P}\boldsymbol{A})\ \boldsymbol{X}=\boldsymbol{A}^T\boldsymbol{P}(-\boldsymbol{L})$

$\therefore\quad \boldsymbol{X}=(\boldsymbol{A}^T\boldsymbol{P}\boldsymbol{A})^{-1}\boldsymbol{A}^T\boldsymbol{P}(-\boldsymbol{L})$

（４） 標準偏差の計算

① １セット観測の標準偏差

$$m_t=\sqrt{\frac{[\Sigma\,\delta_i^2]}{n-1}}$$

② 平均値の標準偏差

$$M_t=\sqrt{\frac{[\Sigma\,\delta_i^2]}{n\,(n-1)}}$$

③　器械の配置別標準偏差

$$m_{t2} = (m_1 + \cdots + m_n) / n$$

ただし、　m_t：１セット観測の標準偏差
M_t：平均値の標準偏差
m_{t2}：器械の配置別標準偏差の平均値
δ_n：$\Delta H_0 - \Delta H_i$
ΔH_i：各セットの高低差
ΔH_0：各セットの高低差の平均値
n：セット数

（５）直接水準，渡海水準測量の路線の混合する環の平均

$$P_1 : P_2 = \frac{1}{m_1^2} : \frac{1}{m_2^2}$$

$$m_1 = m_0\sqrt{S} \quad \text{mm}$$

$$V_1 = \frac{P_2 \cdot W}{P_1 + P_2} \qquad V_2 = \frac{P_1 \cdot W}{P_1 + P_2}$$

ただし，　P_1：直接水準測量の重量
P_2：渡海水準測量の重量
m_1：直接水準測量の標準偏差
m_0：0.5㎜とする
S：直接水準測量の路線長（㎞単位）
m_2：渡海水準測量の標準偏差の平均値
W：環閉合差
V_1，V_2：直接水準，渡海水準測量路線への補正量

本計算式における「標準偏差」は、測量学の慣習に従い用いられているもので、必ずしも数学における狭義の標準偏差の定義に合致しない場合がある。

別表

都道府県別番号表

北海道地方
11　宗谷総合振興局（幌延町を除く）
　　オホーツク総合振興局
12　十勝総合振興局　釧路総合振興局
　　根室振興局
13　空知総合振興局　上川総合振興局
　　留萌振興局
　　宗谷総合振興局のうち幌延町
14　石狩振興局　後志総合振興局
15　胆振総合振興局　日高振興局
16　渡島総合振興局　檜山振興局

東北地方
21　青森県
22　岩手県
23　宮城県
24　秋田県
25　山形県
26　福島県

関東地方
31　茨城県
32　栃木県
33　群馬県
34　埼玉県
35　千葉県
36　東京都
37　神奈川県

中部地方
41　新潟県
42　富山県
43　石川県
44　福井県
45　山梨県
46　長野県
47　岐阜県
48　静岡県
49　愛知県

近畿地方
51　三重県
52　滋賀県
53　京都府
54　大阪府
55　兵庫県
56　奈良県
57　和歌山県

中国地方
61　鳥取県
62　島根県
63　岡山県
64　広島県
65　山口県

四国地方
71　徳島県
72　香川県
73　愛媛県
74　高知県

九州地方
81　福岡県
82　佐賀県
83　長崎県
84　熊本県
85　大分県
86　宮崎県
87　鹿児島県
88　沖縄県